

РОТОРЫ С ИЗМЕНЯЕМОЙ ПАРАМЕТРАМИ В ДИНАМИКЕ ДЛЯ КРУПНЫХ ВЕТРОВЫХ СТАНЦИЙ

In the report will be presented the investigation results of the working model of rotors with variable geometry parameters in dynamics. On the basis of aerodynamic and economic calculations the effectiveness of use of such designs for powerful wind stations is proved. The analysis of various designs and methods of selection of that or other design for various conditions of operation of wind installations in wide range of the wind speed change is given.

Известно, что со дня существования воздушных винтов остро стоит проблема создания конструкции воздушных винтов с возможностью изменения основных геометрических параметров в динамике. Это обусловлено тем, что винты фиксированного шага (ВФШ) не являются оптимальными для всех этапов эксплуатации агрегатов разного назначения. Решение этой проблемы возможно только лишь применением винта изменяемой геометрии (ВИГ), благодаря возможности одновременного изменения диаметра винта, а также угла установки и крутки лопастей в динамике.

В результате изготовления и испытания демонстрационной модели винта с изменяемыми геометрическими параметрами в динамике, нами было доказано, что например для авиации использование ВИГ дает возможность особенно эффективной оптимизации полета самолетов вертикального взлета и посадки (СВВП), обеспечением максимального диаметра и минимальной крутки в режиме висения и наоборот, минимального диаметра и максимальной крутки при горизонтальном полете. В частности при варьировании диаметра ротора от 4,1 до 5,6 м и крутки лопастей в пределах 8° – 30° можно увеличить грузоподъемность летательного аппарата примерно в 1,6 раза, или увеличить скорость полета 1,4 раза, или соответственно уменьшить расход топлива.

Для ветроэнергетических установок, особенно с большими мощностями, использование ВИГ-а даст возможность расширить диапазон максимальных значений КПД установки при изменении скорости ветра в большом диапазоне от 3 до 20–22 м/сек, а также обеспечить работоспособность установки при тех высоких скоростях ветра (22–35 м/сек), при которых существующие установки не в состоянии работать. Решение этой проблемы стала особенно актуальной после известной катастрофы в Фукусиме, Японии. В результате которого все ведущие страны мира стараются максимально заменить долю атомной энергии другими видами в общем энергетическом балансе. На сегодняшний день, для этой цели более эффективный метод, чем ветроэнергетика по эко-

306

номическим и экологическим критериям, а также потенциально возможным осваиваемым объемом энергии, к сожалению, не существует.

Проведенные предварительные аэродинамические и экономические расчеты доказывают, что с помощью использования разработанной нами конструкцией можно увеличить годовой объем выработанной каждой ветростанцией энергию минимум на 100%-ов (Рис. 1).

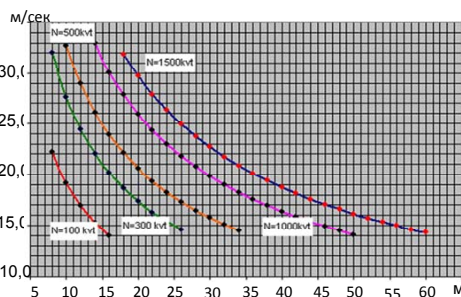


Рисунок 1 – Зависимость между диаметром ротора и скоростью потока ветра при разных мощностях установок.

Наряду многочисленных публикаций исследователей разных стран [1,2,3] о существенной эффективности использования ВИГ-а в ветроэнергетике свидетельствуют и постановления международного тематического семинара «Винт изменяемой геометрии (ВИГ)», который был проведен в Тбилиси с 13-го по 15 июля 2011 года.

Несмотря на множество работ известных фирм, и ученых разных стран, проблема ВИГ еще не решена. Существуют патенты, не нашедшие реального воплощения, главным образом из-за сложности и недостаточной надежности технических решений.

Следует учесть, что все эти фирмы занимались изменением, какого-либо одного параметра, например, фирма «Сикорский» занималась изменением только диаметра винта, а корпорация «Боинг» — изменением только крутки лопастей.

Грузинский технический университет (ГТУ) предложил сочетание изменения диаметра и крутки во время эксплуатации.

По линии международного научно-технического центра (МНТЦ) группа специалистов ГТУ работала над проектом G-060-2 «Винт изменяемой геометрии (ВИГ) и средства его управления (узлы, приводящие в действие)», коллаборатором проекта был Лео Дадоне, руководитель многих опытно-конструк-

торских работ по вертолетостроению, старший научный сотрудник, руководитель группы конструкторов, корпорации «Боинг-Роторкрафт» (США).

Первоначально на этапе анализа, на основе расчленения объекта исследования был спроектирован и изготовлен макет винта с изменяемым диаметром, потом макет винта с изменяемой круткой лопастей. После лабораторных испытаний их основных узлов на этапе синтеза был создан винт с одновременно изменяемыми диаметром и круткой лопастей, а также стенд для его испытания [4].

Проведенные стендовые испытания модели ВИГ показали, что при высоких числах оборотов возникают значительные центробежные силы, действующие на ходовой винт. Ходовой винт — самый нагруженный элемент конструкции несущего винта и является слабым звеном. Снижение вредного воздействия этих сил и стало весьма актуальной проблемой. Соответственно по линии МНТЦ группа специалистов ГТУ работала над проектом G-916 «Управляемый винт изменяемой геометрии с компенсацией действия центробежных сил». Коллабораторами были Жан — Жак Филипп старший научный сотрудник, почетный советник научного центра Франции «ОНЕРА», занимающегося исследованиями и разработками вертолетов и СВВП и господин Лео Дадоне.

Целью проекта G-916 была разработка системы компенсации центробежных сил. Технический подход состоял в проведении модельного эксперимента, в котором стенд стационарно закреплен на месте. При вращении винта в режиме вентилятора были осуществлены измерения тяги в зависимости от изменения частоты вращения и диаметра винта. Это имитирует условия режима висения летательного аппарата. Из возможных принципов компенсации (механического, электрического, гидравлического) был выбран гидравлический, как наиболее гибкий в управлении [5 – 8].

На конструкцию этого варианта ВИГ-а получен Европатент Application No/Patent No 08737551.5 - 2422 PCT/IB2008001041. В настоящее время патентуется в США. Все финансовые расходы патентования взял на себя Евросоюз.

Безопасность динамических испытаний ВИГ-а была обеспечена безотказностью узлов ВИГ с системой компенсации. Для оценки безотказности был сконструирован и изготовлен стенд статических испытаний, на котором были экспериментально имитированы нагрузки, действующие при различных частотах вращения винта. Были определены линии упругости лопасти в зависимости от имитируемых частот вращения при сдвинутой и раздвинутой лопасти, а также зависимости усилий на рычаге управления стендом от имитируемых частот вращения.

Эксперименты, на стенде динамических испытаний, были проведены методом замера скорости воздушного потока крыльчатый анемометром, который для данной задачи характеризовался достаточной повторяемостью результатов измерений.

Установлено, что в случае увеличения диаметра винта в 1,4 раза и изменения крутки лопасти в пределах $16 \div 18^\circ$ обеспечивается повышение силы тяги примерно, в 1,6 раз.

Эффективность системы компенсации доказана многократным безотказным сдвижением-раздвижением лопасти винта во всем диапазоне изменения частот вращения. Это обусловило синхронность функционирования ВИГ-а.

Результаты работ по обоим проектам доложены и одобрены на авторитетных международных научно-технических конференциях, запатентованы и опубликованы в научных статьях. В Грузии и Румынии издана монография на русском и английском языках.

Коллабораторами проектов было предложено, что для дальнейшего увеличения эффективности использования ВИГ-а, целесообразно упрощение механизма изменения диаметра и увеличение диапазона изменения крутки лопастей до 30° .

Исполнителями проекта было предложено несколько конструктивных вариантов для решения этой задачи. МНТЦ на основании поддержки коллабораторов профинансировал это предложение.

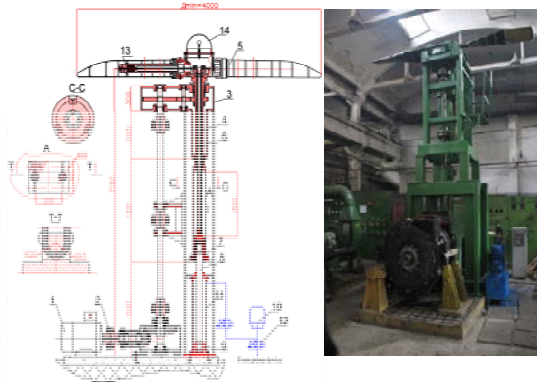


Рисунок 2 – Стенд динамических испытаний

Из предложенных конструктивных вариантов на основе консультации с коллабораторами, а также с другими компетентными специалистами работающих в области авиации, был выбран более оптимальный и в условиях Грузии наиболее реализуемый вариант. Сущность этого варианта заключается в том, что втулка и лопасти освобождены от всяких лишних деталей и уз-

309

лов и остался только трос, концы которого закреплены на движущихся частях лопастей. Сама лопасть, с целью свободного осуществления крутки, состоит из гибких элементов, которые закреплены между несущими нервюрами (Рис. 2).

При увеличении оборотов воздушного винта, за счет возникших центробежных сил, движущиеся части лопастей раздвигаются и диаметр винта увеличивается. Для уменьшения диаметра, поршень и шток гидроцилиндра перемещаются в нужном направлении и с помощью троса диаметр винта уменьшается.

При увеличении или уменьшении диаметра с помощью специальных механизмов каждая нервюра, в каждый момент, занимает заранее рассчитанное угловое положение вокруг неподвижного лонжерона, чем обеспечивается максимальная крутка лопастей при минимальном диаметре и наоборот, минимальная крутка при максимальном диаметре винта. Этими же механизмами крутки сохраняется стабильность формы лопастей при вращении винта т.е. при действии на лопасти значительных центробежных и подъемных сил.

На эту конструкцию получен Грузинский патент и готовятся документы для Европейского патента, на финансирование которого имеется согласие руководителей Евросоюза.



Рисунок 3 – Лопасть с гибкими элементами и нервюры

Проведен подробный анализ существующих литературных данных, осуществлены необходимые аэродинамические и прочностные расчеты, составлены технологические карты изготовления всех ответственных деталей, параллельно были изготовлены детали и узлы, осуществлена модернизация стендов для статических и динамических исследований соответственно новой конструкции винта, проведены предварительные испытания лопастей на

310

стенде статических испытаний и подготовлен стенд динамических испытаний для проведения подробных экспериментов (Рис. 3).

По разработанной методике в предыдущем проекте измерены скорость воздушных потоков в разных сечениях лопастей по схеме показанной на рис. 4 и с помощью известных зависимостей определены характер распределения подъемных сил вдоль лопастей при разных диаметрах ротора и величины крутки лопастей (рис. 5 и 6).



Рисунок 4 – Схема установки для измерения тяги винта на стенде путем замера скоростей с помощью анемометров. 1-Стенд ВИГ, 2-Анемометры, 3-Рама для установки анемометров.

Изучены также влияние угла установки лопасти на величину и характера распределения подъемной силы вдоль лопасти. Результаты некоторых экспериментов представлены на рисунках 7, 8, 9, 10.

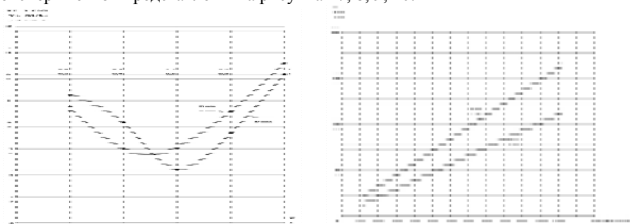


Рисунок 5 – Схема распределения индуктивных скоростей вдоль размаха лопасти для разных диаметров воздушного винта

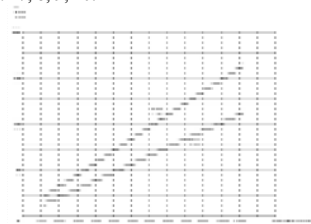


Рисунок 6 – Схема зависимости тяги ВИГ-а от частоты вращения винта для случая угла установки лопасти $\varphi_{0,75} = 15^\circ$

311

В настоящее время проводятся конкретные расчеты эффективности использования разработанных конструкции для ветроэнергетических установок. Следует отметить, что результаты предварительных расчетов весьма оптимистичны.

В таблице 1, как пример, показаны сравнительные данные эффективности ветростанций с регулируемым диаметром с стандартными станциями известной Германской фирмы «Энеркон» с постоянными диаметрами ротора 33м и 48м при изменении скорости ветра в диапазоне $3 \div 32$ м/сек.

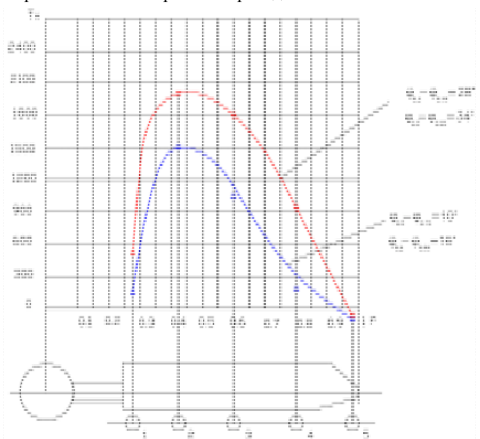


Рисунок 7 – График зависимости тяги ВИГ от изменения крутки лопастей для минимального диаметра D_{\min} винта, частоты вращения $n=3000$ об/мин и угла установки $\varphi = 5^\circ$.

312

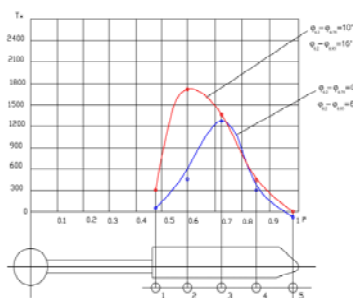


Рисунок 8 – График зависимости тяги ВМГ от изменения крутки лопастей для максимального диаметра D_{\max} винта, частоте вращения $n=200$ об/мин и угла установки $\varphi = 5^\circ$.

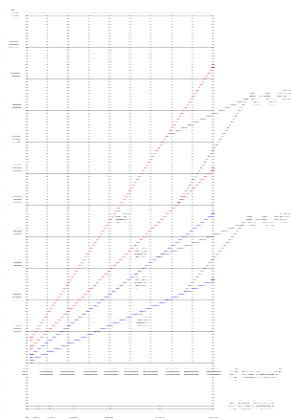


Рисунок 9 – График зависимости тяги ВМГ от частоты вращения винта, для минимального диаметра D_{\min} .

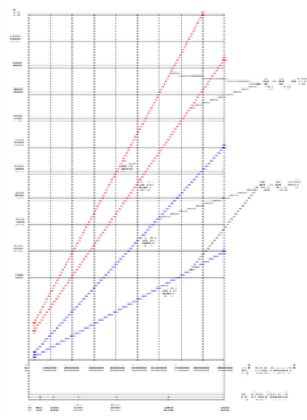


Рисунок 10 – График зависимости тяги ВМГ от частоты вращения винта, для максимального диаметра D_{\max} .

313

Таблица 1 – Эффективность модернизированной ветровой станций D=33/48 по сравнению с стандартными станциями

Тип	Е-33		Е-33 Модерн.		Эффект	Е-48		Е-33/48		Эффект	
V м/с	Dm	PkW	Dm	PkW	kW	Dm	PkW	Dm	PkW	kW	±%
1	33	0.0	33	0.0	-	48	0.0	48	0.0	0.0	0
2	33	0.0	33	0.0	-	48	2.0	48	2.0	2.0	0
3	33	5.0	33	5.0	-	48	12.0	48	12.0	7.0	240
4	33	13.7	33	13.7	-	48	32.0	48	32.0	18.3	233
5	33	30.0	33	30.0	-	48	66.0	48	66.0	36.0	120
6	33	55.0	33	55.0	-	48	120.0	48	120.0	65.0	118
7	33	92.0	33	92.0	-	48	191.0	48	191.0	99	207
8	33	138.0	33	138.0	-	48	284.0	48	284.0	146	179
9	33	196.0	33	196.0	-	48	405	44	335.0	139	171
10	33	250.0	33	250.0	-	48	555	42	335.0	85	134
11	33	292.0	33	292.0	-	48	671	40	335.0	43	114
12	33	320.0	33	320.0	-	48	750	38	335.0	15	104
13	33	335.0	33	335.0	-	-	-	33	335.0	-	-
14	33	335.0	33	335.0	-	-	-	33	335.0	-	-
15	33	335.0	33	335.0	-	-	-	33	335.0	-	-
16	33	335.0	33	335.0	-	-	-	33	335.0	-	-
17	33	335.0	33	335.0	-	-	-	33	335.0	-	-
18	33	335.0	33	335.0	-	-	-	33	335.0	-	-
19	33	335.0	33	335.0	-	-	-	33	335.0	-	-
20	33	335.0	33	335.0	-	-	-	33	335.0	-	-
21	33	335.0	33	335.0	-	-	-	33	335.0	-	-
22	33	335.0	33	335.0	-	-	-	33	335.0	-	-
23	33	335.0	33	335.0	-	-	-	33	335.0	-	-
24	33	335.0	33	335.0	-	-	-	33	335.0	-	-
25	33	335.0	33	335.0	-	-	-	33	335.0	-	-
26	-	-	31.1	335.0	335.0	-	-	31.1	335.0	335.0	100
27	-	-	29.4	335.0	335.0	-	-	29.4	335.0	335.0	100
28	-	-	27.8	335.0	335.0	-	-	27.8	335.0	335.0	100
29	-	-	26.4	335.0	335.0	-	-	26.4	335.0	335.0	100
30	-	-	25.1	335.0	335.0	-	-	25.1	335.0	335.0	100
31	-	-	23.9	335.0	335.0	-	-	23.9	335.0	335.0	100
32	-	-	22.3	335.0	335.0	-	-	22.3	335.0	335.0	100
33	-	-	21.7	335.0	335.0	-	-	21.7	335.0	335.0	100
34	-	-	20.8	335.0	335.0	-	-	20.8	335.0	335.0	100

Из таблицы видно при каких скоростях какая ижидаемая эффективность новой станций до скорости 22 м/сек. А с выше этой скорости эффективность новой станций будет 100%, так как при этих скоростях существующие станций сегодня не в состояний работать.

314

Разработаны несколько вариантов конструкции роторов для ветровых станций с разными мощностями, некоторые из них находятся на стадии патентования.

Воздушные винты с изменяемыми геометрическими параметрами в динамике также эффективно можно использовать в таких отраслях техники как дирижаблестроение, производство гребных винтов для судостроения и другое.

Список использованных источников: 1. В.П.Харитонов. Автономные Ветроэлектрические Установки. 2006 г. М.: Государственное научное учреждение «Всероссийский НИИ Электрофикации сельского хозяйства (ГНУ ВИЭСХ)». 2006 г. – 280 стр. 2. Р.Я.Янсон. Ветроустановки. Москва. Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2007 г. –20 стр. 3. T.A.I.Shemmeri. Wind Turbines. Publisher: BookBoon 2010. ISBN–13: 9788776816926. –Number of pages: 88. 4. V.Animitsa, V.Golovin, M.Krainov, V.Novak, N.Tarasov, V.Shecheglova. Experiment-Calculated Investigations of Fields of Inductive Velocities Behind the Rotor on Aerodynamic Characteristics of the Antitorque Rotor at Small Flight Speeds at Lateral Wind. TSAGI. Moscow. The 4th Forum of the Russian Helicopter Society. February, 2004. 5. R. Turmanidze, L. Dadone, G. Sanadze. Increase of Flight and Technical Characteristics of Flying Vehicles By Means of Application of the Variable Geometry Rotor. Materials of the 5th Forum of the Russian Helicopter Society. Moscow, 2002. p. VI39-VI48. 6. R.S. Turmanidze, L. Dadone, J.-J. Philippe, B. Demaret, Investigation, Development and Tests Results of the Variable Geometry Rotor. 33 rd European Rotorcraft Forum. Kazan, 10–14 September 2007, Pages 11. 7. Dadone L.; Liu J.; Acree C. Proprotor Design Issues for High Speed Tiltrotors. Boeing Defense & Space Group, Helicopter Division. NASA Ames Research Center. Presented at the 50 th Annual Forum of the American Helicopter Society, Washington, DC, May 1994. 8. J.C. Walchko, J. Kim, K. W. Wang, E.C. Smith. Hybrid Feed forward-Feedback Control for Active Helicopter Vibration Suppression. The Pennsylvania State University, University Park, PA 16802. AHS Forum Penn State Papers May 1-3, 2007.

Поступила в редколлегию 15.05.2012